第 37 卷 第 1 期　原 子 核 物 理 评 论　Vol. 37, No. 1
2023 年 12 月　Nuclear Physics Review　Dec. , 2023

文章编号： 1007-4627(2023) 01-0040-07

CNPC2023 ^{178}Hf 同核异能态激发与退激路径研究

贺子阳[1]，吴晓光[1]，蒋 伟[2,3]，李聪博[1]，周振翔[4]，孙 琪[1]，郭明伟[1]，吴鸿毅[4]，李智焕[4]，樊瑞睿[2,3]，唐靖宇[2,3]，李天晓[1]，胡守扬[1]，智 宇[1]，宋金兴[1]，李沛玉[1]，栾广源[1]，张奇伟[1]，王朝辉[1]，陈雄军[1]，胡世鹏[5]，钟 健[5]，甘 林[5]，张智程[5]，张苏雅拉吐[6]，王德鑫[6]，孙保华[7]，庞 萱[7]，郑 云[1]，李笑梅[1]，阮锡超[1]，华 辉[4]

(1. 中国原子能科学研究院，北京 102413；
2. 中国科学院高能物理研究所，北京 100049；
3. 散裂中子源科学中心，东莞 523803；
4. 北京大学物理学院，北京 100871；
5. 深圳大学，广东深圳 518060；
6. 内蒙古民族大学，内蒙古通辽 028000；
7. 北京航空航天大学, 北京 100191)

摘要：具有长寿命高激发态的同核异能素在国家战略安全和储能领域有重要的意义，其关键技术在于掌握人工诱发同核异能素快速退激到基态。近些年该项技术研究遇到了瓶颈，需从原子核结构研究的角度出发，通过对同核异能素的形成、受激激发和退激机制的深入研究，突破遇到的瓶颈，进而掌握诱发同核异能素快速退激到基态的关键技术。本工作是在实验技术方面利用白光中子束流轰击 Hf 靶，创新性地建立了由氟化钡探测器阵列进行全能量测量与高纯锗探测器进行特征伽马射线测量相结合，再结合白光中子飞行时间开窗组成三重符合测量的系统，通过对实验数据的分析发现了 ^{178}Hf 同核异能态激发到过渡能级并快速释放的迹象。
关键词：^{178}Hf 同核异能素; 诱发衰变; 核能释放; 多探头多参数伽马谱符合测量装置
中图分类号：O571.23　**文献标志码：**A　**DOI：**10.11804/NuclPhysRev.37.01.40

1 引言

同核异能态是原子核的一种激发态，其特殊的结构抑制了它的自发衰变[1]。具有长寿命激发态的核素也被称为同核异能素，其在原子核结构与天体物理学中有重要的研究意义。在清洁能源、大容量储能设备、核时钟、医疗诊断与治疗、γ 射线激光器等领域也有广泛的应用前景[2]。在过去的二十年中，同核异能素相关的实验迅速增长[3]。

在 Chadwick 发现中子[4] 前，Soddy 提出核素内可能存在多个结构的概念[5]。1921 年，Hahn 首次从实验上发现了 ^{234}Pa 的同核异能素存在的证据[6]，但是直到 1936 年 von Weizsäcker 提出同核异能素的理论解释[7]。与此同时，中子轰击实验发现了许多新的同核异能素，如 Kurtchatov 等人[8] 和 Szilard 与 Chalmers[9] 发现的 Br 和 In 的同核异能素。实验发现 A=180 核区存在大量高激发能（>1MeV）和长寿命（>1ms）的同核异能素[10]。

根据其形成和存在的机制不同，同核异能素主要被分为五类[3]：第一类是自旋同核异能素（Spin isomers）。其形成和存在的原因是原子核激发态衰变时发射的 γ 射线难以满足自旋选择定则（包括角动量守恒）[10]，标志性核素是 ^{180m}Ta[11-12]。第二类是 K 同核异能素（K-isomers)，它是自旋同核异能素的另一种形式，其主要体现在激发态的衰变不仅取决于核自旋矢量的大小、还取决于核自旋矢量的方向，标志性核素是 ^{180}Hf[13]。第三类是形状同核异能素（Shape isomers）。当某一原子核的基态存在形变并且其不同的势能面有多个极小值时，如果次极小值的势能面足够深，就可能会导致形状同核异能素[3]，标志性核素是 ^{72}Kr[14]。第四类是裂变同核异能素（Fission isomers）[15-16]。它是形状同核异能素的一种，通常在重原子核中被发现。裂变同核异能素的衰变是发射 γ 射线退激到基态或进行自发裂变相互竞争的结果，标志性核素是 ^{242}Am[17]。第五类是 Seniority isomer，是指原子核电磁衰变受到辛弱量子数相关选择规则阻碍的核素，其存在主要受到核子-核子相互作用的四极配对矩阵元的支配。

同核异能素在医学成像[20] 和穆斯堡尔谱学[21] 方面

收稿日期：2023-12-24；　**修改日期：**2023-12-24
基金项目：国家自然科学基金资助项目 (U1932209, 11975315, U2167202, U2167201)
作者简介：贺子阳（1997–），安徽合肥人，研究生，粒子物理与原子核物理；E-mail: ziyang.he@outlook.com
通信作者：E-mail: xingkong1973@sina.com

有成熟的应用，但是同核异能素作为一种储能材料得到应用需要进一步的研究。关键技术是找到一种人工可控的方式实现对长寿命和高激发能的同核异能素的受激激发和退激。1999 年，Belic 等人实现了 ^{180m}Ta 的同核异能素的人工诱发退激[19]。^{180m}Ta 的激发能只有 77keV, 远小于诱发它提前衰变的所需的 1MeV 光子能量，因此难以被广泛应用。^{178m2}Hf 是一个具有 31 年寿命和 2.4MeV 激发能的同核异能态，其较长的寿命和较高的激发能使其具有更高的应用价值。1999 年 Collins 宣称可以用小于 100keV 的 x 射线诱发 ^{178m2}Hf 的提前衰变[22]，但是他的实验结果存在争议[23]。目前的研究表明存在多种方式可以诱发同核异能素的提前衰变，如光子诱发、库伦激发、热中子俘获[24]、电子-原子核相互作用[25-27]。

到目前为止，研究人员还没有找到一个有效的技术方法实现人工诱发同核异能素的提前衰变，特别是对 ^{178m2}Hf 的研究遇到了瓶颈，这就需要从原子核结构研究的角度出发，通过对同核异能素的形成、受激激发和退激机制的深入研究，突破瓶颈，进而掌握诱发同核异能素提前衰变的关键技术。理论研究表明诱发同核异能素提前衰变的一种可行机制是同核异能素先被诱发到附近短寿命的过渡态[28] 再完成退激，释放能量。

2006 年，高早春、图雅、陈永寿在投影壳模型（PSM）中引入 γ 自由度，建立含有多准粒子组态的三轴投影壳模型（TPSM）[29]，再现 ^{178m2}Hf 的各条多准粒子带和实验观测到的基于基带的 γ 振动带。如果 ^{178m2}Hf 的内禀组态具有和基态一样的 γ 自由度，则基于 ^{178m2}Hf 内禀组态之上将可能同样存在若干条转动带。其中理论预言第一个 14^+ 态位于 ^{178m2}Hf 之上约 860keV 处。由于这些转动带均属于相同的内禀组态，从 ^{178m2}Hf（16^+）态向 14^+ 激发比较容易实现。因此，该 14^+ 态可被当作 ^{178m2}Hf 激发和退激过程中的短寿命过渡态[30]。有了理论预言，实验上验证是否存在着这样一个过渡能级，并找到其激发和退激的路径，有重要的科学意义和应用价值。本项目利用白光中子束流轰击 Hf 靶，结合氟化钡探测器阵列（GTAF-II）与高纯锗探测器组成的多探头多参数伽马谱符合测量装置，对其同核异能态激发和退激路径进行研究。希望能找到理论预言的过渡态存在的证据，并发现其退激到低激发态的路径。

2　实验装置和设计原理

实验在中国散裂中子源反角白光中子实验终端[31] 完成，使用能区跨度超过 8 个量级（1eV - 100MeV）的白光中子脉冲束流轰击一个直径 50mm，厚度 1mm 的天然 Hf 靶，其中主要成分含有 18.60% 的 ^{177}Hf，27.28% 的 ^{178}Hf，13.82% 的 ^{179}Hf，35.08% 的 ^{180}Hf，在本次实验中靶材料放在大气中。本次实验，通过中子核反应首先布居 ^{178}Hf 的同核异能态，然后通过不同能量的白光中子激发 ^{178}Hf 核同核异能态到过渡能级并快速退激到低激发态。实验上使用有 40 个氟化钡探测单元的 GTAF-II 阵列[34] 和 1 个高纯锗探测器相结合探测靶核发射的伽马射线，数据获取系统采用 XIA 的通用数字化获取系统[35]。通过对氟化钡球测量的加和峰和高纯锗探测器测量的特征伽马峰与白光中子飞行时间三重符合开窗，寻找并验证是否存在理论预言的过渡能级。

实验的探测器阵列分成两部分。“探测器装置一”结构如图 1所示，由添加了 1 个高纯锗探测器的 GTAF-II 阵列及相关仪器和实验数据获取系统组成，利用氟化钡探测阵列的高效率结合高纯锗探测器的高分辨特性初步寻找是否存在理论预言的过渡能级。

“探测器装置二”结构如图 2所示，由溴化镧探测器和高纯锗探测器组成，利用溴化镧探测器的高时间分辨和高纯锗探测器的高能量分辨来精细寻找 ^{178}Hf 同核异能态的退激路径。本次实验用到的白光中子束流是具有很宽的能谱的脉冲束流，可以用中子飞行时间（Time-of-flight）来确定中子的能量[38]。本实验中利用中子飞行时间开窗来判定 ^{178}Hf 的同核异能态激发到过渡态是否和某个中子存在时间关联。

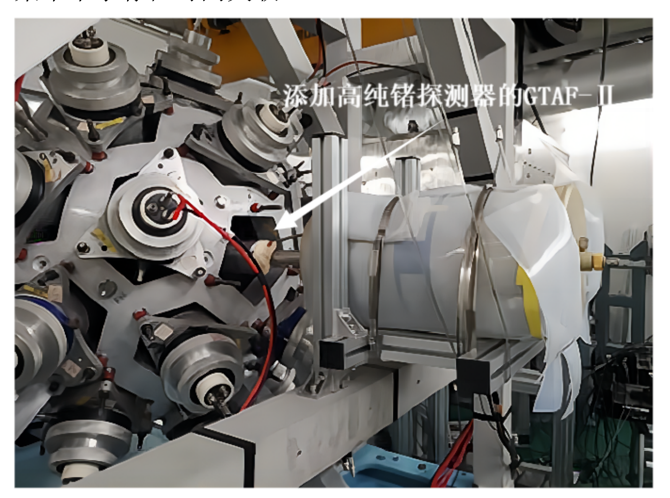


图 1　(在线彩图) 添加了高纯锗探测器的 GTAF-II 阵列

本论文工作分析的实验数据主要来自“探测器装置一”。该探测装置进行全能量伽马谱测量工作的基本原理是，当原子核处于某个激发态向下退激到基态的过程中，氟化钡探测阵列会高效地测量各条不同路径退激下来的级联伽马射线，利用级联伽马之间的时间关联通过快时间符合记录下来，并把具有符合关系伽马射线能量相加得到加和峰，此时测量得到的加和峰能量就对应着激发态的能量值。同时我们利用高分辨率的高纯锗探测器测量 ^{178}Hf 同核异能态的退激到低激发的某条特征伽

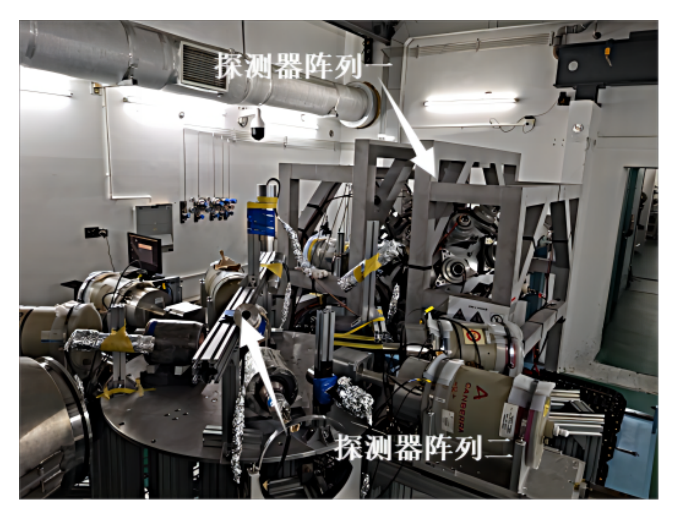


图 2 (在线彩图) 探测器阵列示意图

马，并与氟化钡探测阵列的加和峰进行符合开窗，进而判定加和峰观测到的激发态是否属于 ^{178}Hf。在此基础上，再与中子飞行时间进行三重符合开窗，如果存在和某个中子有时间关联，再进一步证明这个激发态是否是理论预言存在的一个过渡态，是否是由中子诱发到这个过渡态的。如图 3所示。基于以上的研究方法和思路，我们希望能间接地判断是否存在理论预言的过渡能级。因为 ^{178}Hf 的这个过渡态有多种退激路径，但其退激的级联 γ 的总能量和是确定的，等于过渡态的能量。通过使用具有高效率氟化钡探测单元组成的 GTAF-II 阵列尽可能地收集 ^{178}Hf 核的这个过渡态退激过程中发射的级联 γ 射线，即在测量得到的能谱中理论预言的过渡态能量值附近对应出现一个“加和峰”。

另外，由于白光中子束流中存在很强的束内本底[36-37]，干扰加和峰的观察。本次实验使用具有高能量分辨率的高纯锗探测器替换 GTAF-II 阵列中的一个氟化钡探测单元，进行符合开窗可以减少束内本底的影响。基于 ^{178}Hf 核结构的特点，我们使用 ^{178}Hf 的 4^+ 态衰变到 2^+ 态发射的能量为 213keV 的 γ 射线来判断 GTAF-II 阵列收集到的 γ 射线是 ^{178}Hf 退激过程中产生的还是束内本底导致的。从图 4a和图 4b的对比中可以看到，图 4a显示的是未经筛选的加和峰能谱，过高的束内本底淹没了实验上所能观察到的现象。图 4b显示的是经过高纯锗探测器探测到的能量为 213keV 的 γ 射线筛选后的加和峰能谱图，本底得到了极大的抑制，数据处理上是对高纯锗 213keV 峰开窗看 GTAF-II 的符合加和峰，符合的时间窗宽度是 50ns。

3 数据分析与讨论

如图 4b所示，通过对测量得到的实验数据分析，我们得到了通过高纯锗开窗 ^{178}Hf特征伽马 213keV 后生成

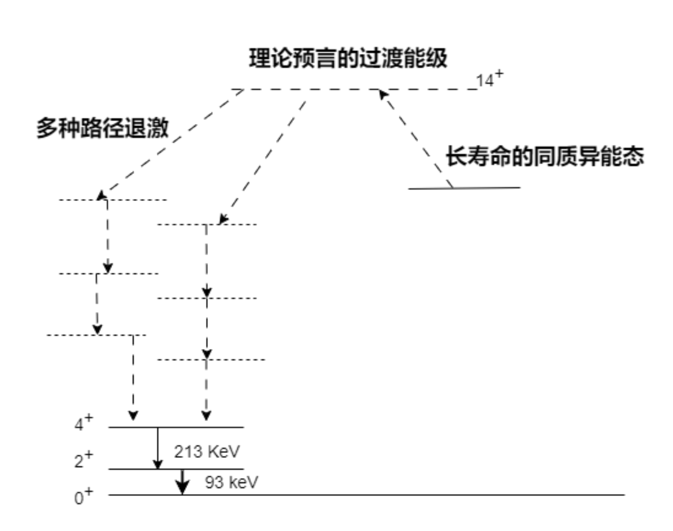


图 3 高纯锗结合 GTAF-II 和中子飞行时间进行三重符合测量示意图

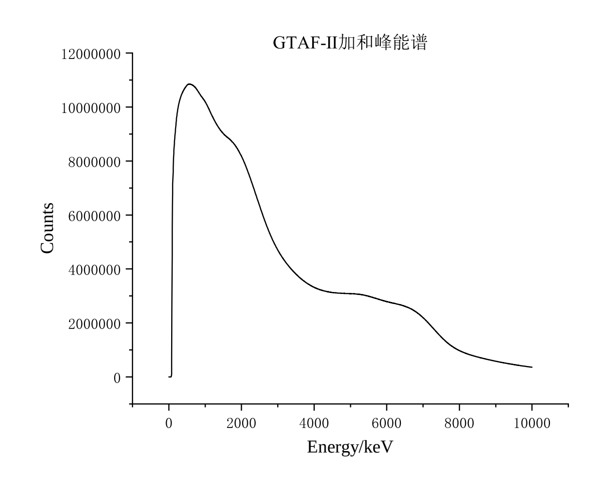
的 GTAF-II 加和峰能谱。从能谱中两个明显的能峰，一个位于 3.0MeV 处，一个很宽的能峰在 6MeV 和 9MeV 之间。其中 6-9MeV 的能峰是 ^{178}Hf(n,γ) 反应后吸收一个中子形成的复合态退激下来的各种 γ 射线加和后测量得到的能峰。而 3.0MeV 的峰，可能是理论预言的 14^+ 过渡态所退激下来加和后测量得到能峰。

通过把实验测量值和理论计算的 ^{178}Hf 核过渡态能量值进行对比，如图 5所示符合较好，理论预言的过渡能级的能量为 3.3MeV，实验上通过对 213keV 进行开窗后得到的加和峰能量为 3.0MeV，因此实验上测得的能级的能量为 3.2MeV。故初步断定这是理论预言可能存在过渡态。进一步还需要和中子飞行时间进行三重符合开窗来验证。

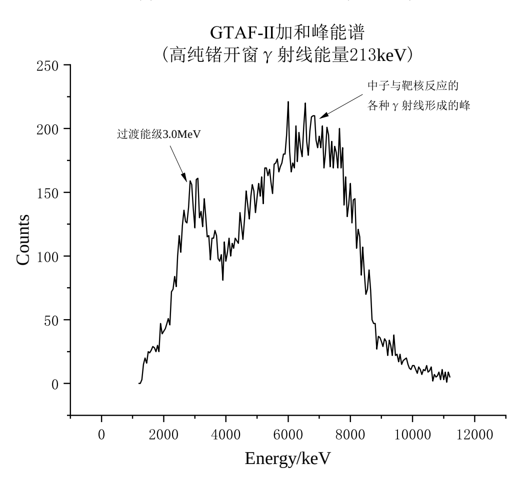
图 6展示的是白光中子飞行时间谱，在 330us-340us 区间存在显著的飞行时间峰，判断可能该能量的中子诱发衰变。图 7展示的是高纯锗对 213keV 和 330us-340us 开窗后的三重符合加和峰能谱。在 3.0MeV 处存在明显的能峰，初步判定在 3.0MeV 处的这个过渡态与中子诱发存在时间关联。

通过对图 4b和图 7中测量得到的数据分析，再结合图 5中的理论计算与实验测量值得对比，我们确认图 4b和图 7中出现的 3.0MeV 处的能量值就是理论预言存在的 14^+ 过渡态的能量值。为了进一步验证我们的测量结果不是由本底和其他偶然符合带来的，我们对能量在 213keV 附近和飞行时间在 330us-340us 范围附近进行了开窗分析。

图 8显示的是高纯锗开窗 300keV 能量的 γ 射线（^{178}Hf 的 213keV 附近的本底区域的 γ 射线）、中子飞行时间 330us-340us，在过渡能级对应的能量区域未能看见峰。图 9显示的是高纯锗开窗 100keV 能量的 γ 射



(a) GTAF-II 加和峰能谱 (高本底)



(b) GTAF-II 加和峰能谱 (高纯锗开窗 213keV 能量的 γ 射线)

图 4　GTAF-II 加和峰能谱对比图

线（^{178}Hf 的 213keV 附近的本底区域的 γ 射线）、中子飞行时间 330us-340us，在过渡能级对应的能量区域未能看见峰。图 10显示的是高纯锗开窗 213keV 能量的 γ 射线、中子飞行时间 350us-360us（非中子飞行时间峰的区域），在过渡能级对应的能量区域未能看见峰。图 11显示的是高纯锗开窗 213keV 能量的 γ 射线、中子飞行时间 310us-320us（非中子飞行时间峰的区域），在过渡能级对应的能量区域未能看见峰。需要说明的是图 6的中子飞行时间谱是高纯锗 213keV 开窗后得到的，在图中出现了一系列的峰，有激发到 3MeV 的中子飞行时间峰，也有 ^{178}Hf 共振吸收的峰，在 310us-320us，350us-360us 范围内出现的那些较强的峰是属于共振吸收的峰，并没有和 3MeV 有时间关联，所以在图 10和图 11中并没有看到 3MeV 位置出现峰。

因此，通过对以上实验数据的综合分析，发现了 ^{178}Hf 核同核异能态激发到过渡能级并快速释放的迹象，

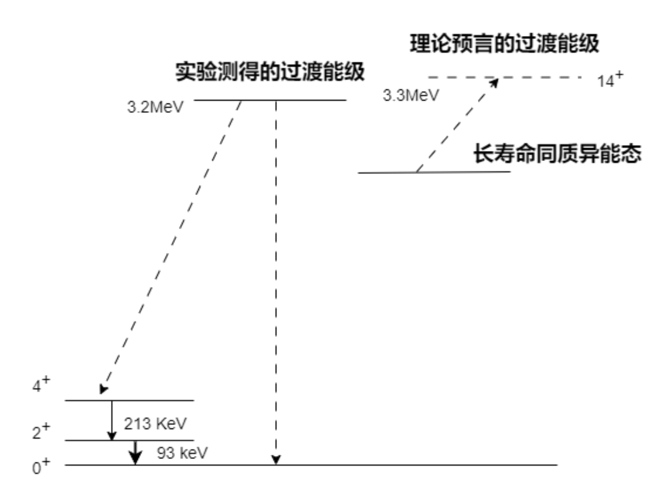


图 5　过渡能级的实验与理论对比示意图

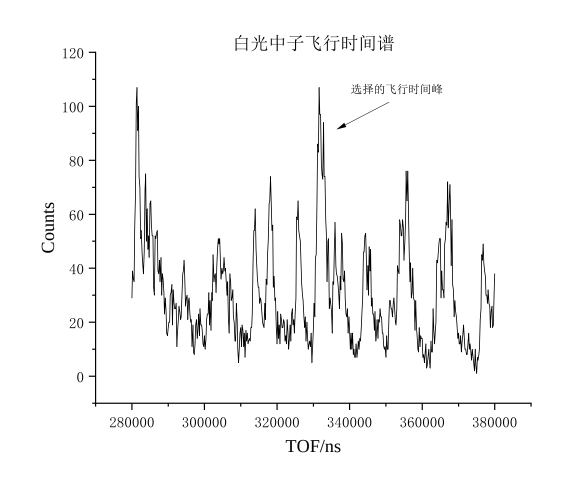


图 6　白光中子飞行时间谱

并且这个过渡态有可能如理论预言所说是 ^{178}Hf 核同核异能态激发和退激过程中的一个过渡能级。

4　总结

长寿命高激发能的同核异能素在能源和国家战略安全等领域有重要意义。但是，人工诱发同核异能素提前衰变的关键技术仍有待研究。理论预言了存在一个 14^+ 的过渡态，并且 ^{178m2}Hf 被激发到该过渡态能得到核能的快速释放。

本次实验用白光中子束流轰击 Hf 靶，利用氟化钡探测阵列的高效率和高纯锗探测器的高分辨特性相结合，进行全能量加和峰和特征伽马射线与中子飞行时间的三重符合开窗，如图 5所示，发现了 ^{178}Hf 核同核异能态激发到过渡能级并快速释放的迹象，并且这个过渡态有可能如理论预言所说是 ^{178}Hf 核同核异能态激发和退激过程中的一个过渡能级。下一步的工作需要在不同的实验条件下进一步确认这个过渡态的存在，并且发现能够实

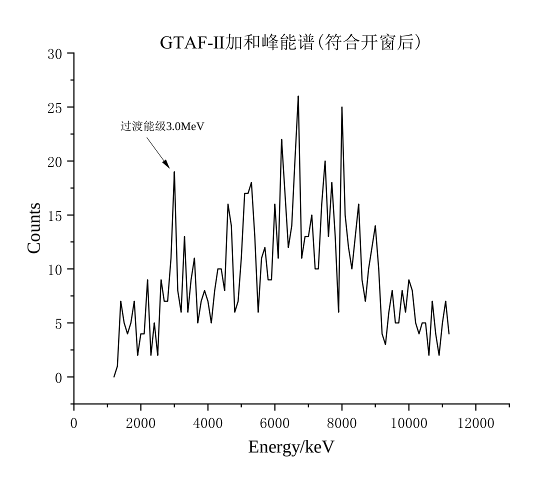


图 7 GTAF-II 加和峰能谱 (高纯锗开窗 213keV 能量的 γ 射线、中子飞行时间 330us-340us)

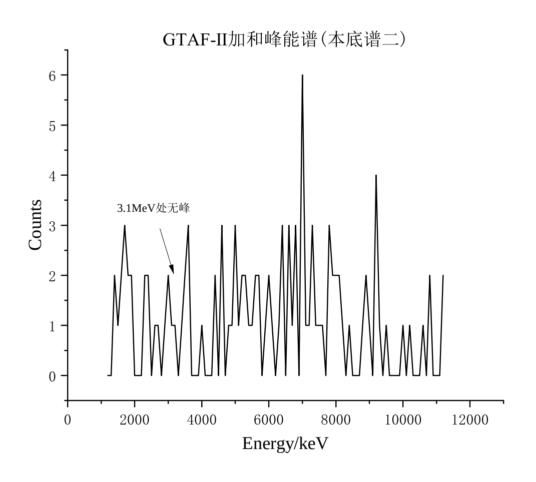


图 9 GTAF-II 加和峰能谱 (本底谱二)(高纯锗开窗 100keV 能量的 γ 射线、中子飞行时间 330us-340us)

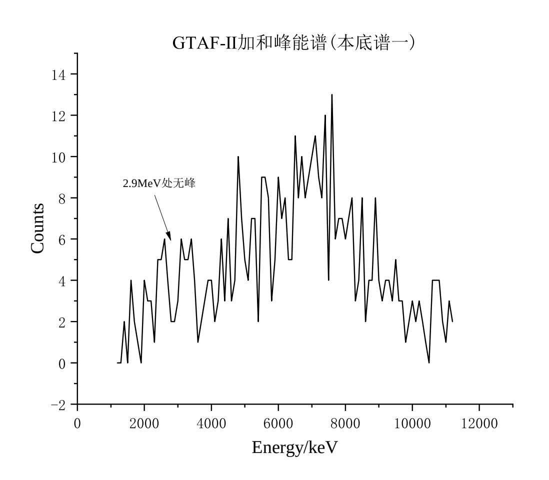


图 8 GTAF-II 加和峰能谱 (本底谱一)(高纯锗开窗 300keV 能量的 γ 射线、中子飞行时间 330us-340us)

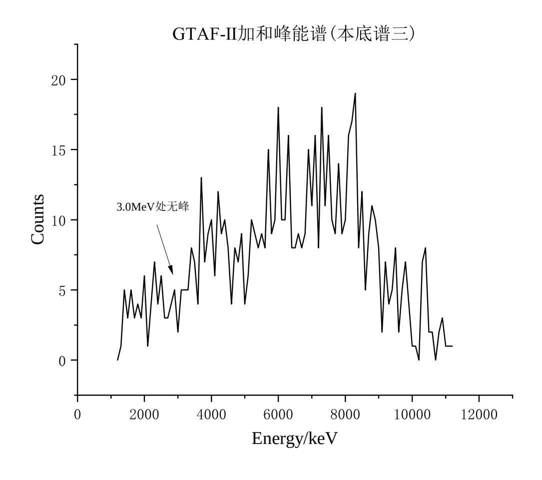


图 10 GTAF-II 加和峰能谱 (本底谱三)(高纯锗开窗 213keV 能量的 γ 射线、中子飞行时间 350us-360us)

现同核异能素能量加速释放的途径。

致谢: 感谢 Back-n 合作组对本次实验的大力支持，提供了很好的白光中子束流和相关的仪器设备，并给予了相关的技术支持。感谢 CIAE 核数据测量部提供了氟化钡探测阵列和高纯锗探测器，并给予人员和技术上的大力支持。感谢北京大学在数字化获取和数据分析方面给予的大力支持。感谢深圳大学，内蒙古民族大学和北京航空航天大学在人员和实验设备上给予的支持。

参考文献

[1] JAIN A K, MAHESHWARI B, GOEL A. Nuclear isomers: A primer [M]. Springer Nature, 2021.
[2] WALKER P M, CARROLL J J. Physics Today, 2005, 58(6).
[3] GARG S, MAHESHWARI B, SINGH B, et al. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 2023, 150: 101546.
[4] CHADWICK J. Proceedings of the Royal Society of London Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character, 1932, 136(830): 692.
[5] SODDY F. Nature, 1917, 99(2482): 244.
[6] HAHN O. Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft (A and B Series), 1921, 54(6): 1131.
[7] V. WEIZSÄCKER C. Naturwissenschaften, 1936, 24(51): 813.
[8] KURTCHATOV B, KURTCHATOV J, LATYCHEV G. Comptes Rendus Acad Sci, 1935, 200: 1199.
[9] SZILARD L, CHALMERS T. Nature, 1935, 135(3403): 98.
[10] WALKER P, DRACOULIS G. Nature, 1999, 399(6731): 35.
[11] EBERHARDT P, GEISS J, LANG C, et al. Zeitschrift für Naturforschung A, 1955, 10(9-10): 796.
[12] BAUMINGER E, COHEN S. Physical Review, 1958, 110(4): 953.
[13] BURSON S, BLAIR K, KELLER H, et al. Physical Review, 1951, 83 (1): 62.
[14] GÖRGEN A, CLEMENT E, BOUCHEZ E, et al. Shape coexistence in light krypton isotopes[C]//AIP Conference Proceedings: volume 802. American Institute of Physics, 2005: 275.
[15] VANDENBOSCH R. Annual Review of Nuclear Science, 1977, 27

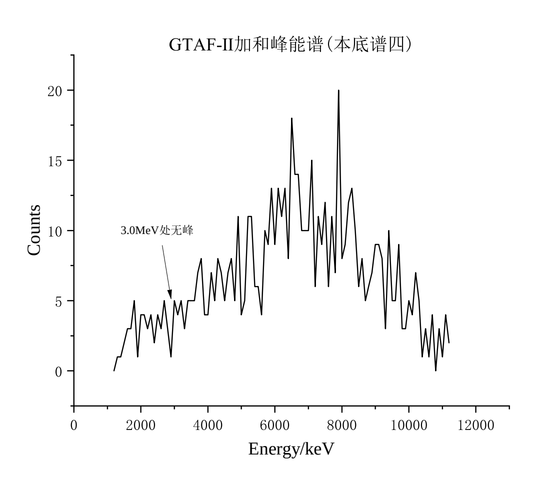


图 11　GTAF-II 加和峰能谱 (本底谱四)(高纯锗开窗 213keV 能量的 γ 射线、中子飞行时间 310us-320us)

(1): 1.

[16] BJØRNHOLM S, LYNN J. Reviews of Modern Physics, 1980, 52(4): 725.

[17] BARNES R, HENDERSON D, HARKNESS A, et al. Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry, 1959, 9(2): 105.

[18] VAN ISACKER P. Seniority isomers in nuclei[C]//Journal of Physics: Conference Series: volume 322. IOP Publishing, 2011: 012003.

[19] BELIC D, ARLANDINI C, BESSERER J, et al. Phys Rev C, 2002, 65(3): 035801.

[20] DRACOULIS G, WALKER P, KONDEV F. Reports on Progress in Physics, 2016, 79(7): 076301.

[21] MÖSSBAUER R L. Zeitschrift für Physik, 1958, 151: 124.

[22] COLLINS C, DAVANLOO F, IOSIF M, et al. Phys Rev Lett, 1999, 82(4): 695.

[23] LI YANG T, DE ZE R, LONG WU H, et al. Phys Rev C, 2013, 88(1): 014312.

[24] CARROLL J, LITZ M, NETHERTON K, et al. Nuclear structure and depletion of nuclear isomers using electron linacs[C]//AIP Conference Proceedings: volume 1525. American Institute of Physics, 2013: 586.

[25] ZADERNOVSKY A, CARROLL J. Hyperfine interactions, 2002, 143: 153.

[26] HARSTON M, CARROLL J. Laser physics, 2005, 15(4): 487.

[27] RZADKIEWICZ J, POLASIK M, SŁABKOWSKA K, et al. Phys Rev Lett, 2021, 127(4): 042501.

[28] CARROLL J J. Nucl Instr and Meth B, 2007, 261(1-2): 960.

[29] GAO Z C, CHEN Y, SUN Y. Phys Lett B, 2006, 634(2-3): 195.

[30] GAO Zao-Chun, Tuya, CHEN Yong-Shou γ degree of freedom for the 178Hf isomeric state[C]//The 11th National Nuclear Structure Conference and the 7th National Nuclear Structure Symposium. changchun:China institute of atomic energy,2006: 109. (in Chinese) (高早春, 图雅, 陈永寿. 178Hf 同质异能态的 γ 自由度[C]//第十一届全国核结构大会暨第七次全国核结构专题讨论会. 长春: 中国原子能科学研究院, 2006: 109.)

[31] CHEN H, WANG X L. Nature materials, 2016, 15(7): 689.

[32] KARAMIAN S, CARROLL J, ADAM J, et al. High Energy Density Physics, 2006, 2(1-2): 48.

[33] KARAMIAN S, CARROLL J. Phys Rev C, 2011, 83(2): 024604.

[34] TANG J Y, AN Q, BAI J B, et al. Nuclear Science and Techniques, 2021, 32: 1.

[35] WU H, LI Z, TAN H, et al. Nucl Instr and Meth A, 2020, 975: 164200.

[36] ZHANG L, JING H, TANG J, et al. Applied Radiation and Isotopes, 2018, 132: 212.

[37] LI Q, JING H, ZHOU B, et al. Nucl Instr and Meth A, 2020, 980: 164506.

[38] AN Q, BAI H, BAO J, et al. Journal of Instrumentation, 2017, 12(07): P07022.

Study on the Excitation and Deexcitation Paths of ^{178}Hf Isomer

HE Ziyang[1], WU Xiaoguang[1], JIANG Wei[2, 3], LI Congbo[1], ZHOU Zhenxiang[4], SUN Qi[1], GUO Mingwei[1], WU Hongyi[4], LI Zhihuan[4], FAN Ruirui[2, 3], TANG Jingyu[2, 3], LI Tianxiao[1], HU Shouyang[1], ZHI Yu[1], SONG Jinxing[1], LI Peiyu[1], LUAN Guangyuan[1], ZHANG Qiwei[1], WANG Zhaohui[1], CHEN Xiongjun[1], HU Shipeng[5], ZHONG Jian[5], GAN Lin[5], ZHANG Zhicheng[5], ZHANG Suyalatu[6], WANG Dexin[6], SUN Baohua[7], PANG Xuan[7], ZHENG Yun[1], LI Xiaomei[1], RUAN Xichao[1], HUA Hui[4]

(*1. China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China;*
2. Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. Spallation Neutron Source Science Center, Dongguan 523803, China;
4. School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China;
5. Shenzhen University, Guangdong, Shenzhen 518060, China;
6. Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028000, Inner Mongolia, China;
7. Beihang University, Beijing 10019, China)

Abstract: Isomer with long lifetime and high excitation energy has great significant in the fields of national strategic security and energy storage. Mastering the method of inducing isomer to decay is the key technology. However, this technology has got into trouble in recent years. For mastering the method of inducing isomer to decay, it is beneficial to start the research on the formation, excitation and de-excitation mechanism of isomer from the view of atomic nucleus structure. In terms of experimental technology, we use the white light neutron beams to bombard Hf target. We established a triple coincidence measurement system, whcih consisted of GTAF-II and HPGE, combined with white light neutron time of flight. Through the analysis of experimental data, we found the sign of the ^{178}Hf isomeric state exciting to the transition level and releasing rapidly.

Key words: ^{178}Hf Isomer; Induced decay; Nuclear energy release; The multi-probe and multi-parameter gamma spectrum coincidence measurement device;

Received date: 24 Dec. 2023; **Revised date:** 24 Dec. 2023
Foundation item: National Natural Science Foundation of China(U1932209, 11975315, U2167202, U2167201)
Corresponding author: WU Xiaoguang, E-mail: xingkong1973@sina.com